

Implementasi Algoritma Edmonds Karp Dalam Pencarian Aliran Maksimum Pada Jaringan Listrik

(Implementation of the Edmonds Karp Algorithm in Searching the Maximum Flow in the Power Network)

Nunik Sutrisni¹, Isnaini Rosyida², Tri Sri Noor Asih^{3*}

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Gedung D7 Lt. 1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: inung.mat@mail.unnes.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Kata Kunci

Grafik
Jaringan
Max-Flow
Algoritma Edmonds Karp
Matlab

Keywords

Graf
Network
Max-Flow
Edmonds Karp Algorithm
Matlab

ABSTRACT

Di dalam jaringan terdapat beberapa model yang bisa digunakan untuk membantu memecahkan masalah-masalah yang merupakan aplikasi *network flow*, diantaranya model distribusi kendali, model rentang jaringan minimum, model rute terpendek, dan jaringan aliran maksimum. Penelitian ini membahas mengenai penerapan algoritma Edmonds Karp dalam pencarian aliran maksimum pada jaringan listrik dimana dalam pencarian lintasan penambahnya menggunakan algoritma Breadth First Search (BFS). Tujuan penelitian ini adalah mensimulasikan perhitungan aliran maksimum dengan algoritma Edmonds Karp untuk mendapatkan aliran maksimumnya kemudian dibantu dengan tool software Matlab. Data kasus yang dipakai merupakan data sekunder jaringan listrik kota Tegal wilayah Distribusi Kebasen 11 yang diambil dari[1]. Hasil yang didapat disimpulkan menjadi: Pencarian aliran maksimum dengan algoritma Edmonds Karp pada jaringan listrik Kota Tegal wilayah distribusi Kebasen 11 diperoleh aliran maksimum sebesar 1.300 Ampere dengan 8 kali iterasi. Menggunakan software Matlab juga ditemukan jumlah aliran maksimum yang sama yaitu sebesar 1.300 Ampere.

In the network there are several models that can be used to help solve problems that are application of network flow, including distribution control models, minimum network range models, models shortest path, and maximum flow network. This paper discusses the application of the Edmonds Karp algorithm in the search for maximum flow on the electricity network where in the search for augmenting path uses the Breadth First Search (BFS) algorithm. The purpose of this paper is to simulate the calculation of maximum flow with Edmonds Karp algorithm to get the maximum flow and then assisted with the Matlab software tool. The case data used is secondary data from the Tegal City electricity network Kebasen 11 Distribution Area taken from[1]. The results obtained were concluded to be: Maximum flow search with Edmonds Karp algorithm on the Tegal City electricity network Kebasen 11 Distribution Area obtained a maximum flow of 1.300 Ampere with 8 iterations. Using the Matlab software also found the same maximum flow amount of 1.300 Amperes.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



PENDAHULUAN

Graf adalah kumpulan simpul (*nodes/vertex*) yang dihubungkan satu sama lain melalui sisi (*edge*) atau busur (*arc*). Biasanya graf digambarkan sebagai kumpulan titik-titik (melambangkan simpul) yang dihubungkan oleh garis-garis (melambangkan sisi) atau garis berpanah (melambangkan busur). Graf G didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V, E) yang dalam hal ini, V adalah himpunan berhingga dan tidak kosong dari simpul-simpul (*nodes/vertex*) sedangkan E adalah himpunan sisi (*edges atau arcs*) yang menghubungkan sepasang simpul, atau dapat ditulis dengan notasi $G = (V, E)$ [2].

Secara umum graf adalah suatu diagram yang memuat informasi tertentu, jika diinterpretasikan secara tepat. Dalam kehidupan sehari-hari graf digunakan untuk menggambarkan berbagai struktur yang ada. Tujuannya adalah sebagai visualisasi objek-objek agar lebih mudah dimengerti. Beberapa contoh graf yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari antara lain, struktur organisasi, bagan alir pengambilan mata kuliah, rangkaian listrik, dll[3].

Jaringan merupakan salah satu contoh graf dan juga salah satu kajian dalam riset operasi. Jaringan adalah sebuah graf berarah sederhana yang mempunyai sumber dan tujuan yang setiap sisinya mempunyai kapasitas. Di dalam jaringan terdapat beberapa model yang bisa digunakan untuk membantu memecahkan masalah-masalah yang merupakan aplikasi *network flow*, di antaranya adalah model distribusi kendali, model rentang jaringan minimum, model rute terpendek, dan jaringan aliran maksimum.

Jaringan aliran maksimum merupakan permasalahan optimasi yang memiliki tujuan untuk memaksimalkan jumlah aliran yang mengalir pada sebuah jaringan yang hanya memiliki satu sumber (*source*) dan satu tujuan (*sink*). Jaringan transportasi adalah sebuah graf berarah yang sederhana dengan setiap sisi mempunyai kapasitas dengan sejumlah syarat sebagai berikut:

- (1) Terdapat satu simpul di dalam graf itu yang tidak mempunyai sisi masuk disebut dengan sumber.
- (2) Terdapat satu simpul di dalam graf itu yang tidak mempunyai sisi keluar disebut dengan tujuan.
- (3) Pembobot setiap sisi $C(i, j)$ dari suatu sisi berarah (i, j) merupakan sebuah bilangan real non negatif disebut dengan kapasitas sisi (i, j) [4].

Setiap aliran yang ada dalam jaringan, harus memenuhi sebuah batasan yaitu arus yang masuk pada suatu simpul harus sama dengan arus yang keluar pada simpul tersebut. Pada simpul asal yang arus keluarnya lebih besar dari arus masuk dan simpul tujuan yang arus masuknya lebih besar dari arus keluar[1]. Contoh aliran maksimum pada sebuah jaringan adalah jaringan listrik, pipa saluran, dan jalur lalu lintas dalam sebuah sistem jaringan yang tertutup. Kapasitas pada setiap jaringan akan membatasi jumlah arus atau aliran yang melewatinya. Aplikasi masalah aliran maksimum yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah jaringan listrik. Penulis memilih jaringan listrik karena jaringan listrik merupakan kebutuhan utama dimana setiap manusia pasti menggunakan listrik untuk berbagai hal sehingga ketergantungan manusia amat tinggi terhadap pemanfaatan listrik untuk kehidupan sehari-hari.

Banyak algoritma yang telah dikembangkan untuk penyelesaian aliran maksimum, misalnya algoritma Dijkstra, algoritma Ford-fulkerson, algoritma Preflow dan algoritma Edmons Karp. Latifah dkk[5] telah membahas penerapan algoritma Prim dan Kruskal pada jaringan distribusi air PDAM. Sedangkan Farizal [1] telah membahas aliran maksimum menggunakan algoritma Ford-Fulkerson. Penelitian tersebut menyimpulkan algoritma Ford-Fulkerson memiliki iterasi yang cukup banyak sehingga kurang efisien. Diperlukan algoritma yang lebih berkembang dari Ford Fulkerson yaitu algoritma Edmons Karp yang merupakan perkembangan lebih lanjut dari algoritma Ford Fulkerson Hal inilah yang membuat penulis mempertimbangkan untuk menerapkan algoritma Edmonds Karp untuk mencari aliran maksimum dari beberapa simpul pada jaringan listrik dan simulasinya menggunakan software Matlab.

Algoritma *Edmonds-Karp* pertama kali diperkenalkan oleh seorang ilmuwan Rusia, Dinic pada tahun 1970, dan dipopulerkan oleh Jack Edmonds dan Richard Karp pada tahun 1972 [6] [7] [8]. Dalam algoritma *Edmonds-Karp*, lintasan penambah yang dipilih merupakan lintasan penambah terpendek. Untuk memilih lintasan penambah terpendek yang dimaksud, digunakan algoritma *Breadth First Search* (BFS). Cara kerja dari algoritma BFS adalah dengan mengunjungi setiap simpul dalam graf mulai dari simpul akar, lalu dilanjutkan dengan mengunjungi simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul akar tersebut. Setelah itu, untuk setiap simpul yang sudah dikunjungi tersebut, dikunjungi simpul-simpul yang bertetangga dengannya dan belum dikunjungi, demikian seterusnya sampai seluruh

simpul berhasil dikunjungi[9]. Menurut Kumar, dkk[10], metode Edmond Karp adalah algoritma yang terkenal untuk memecahkan masalah aliran maksimum. Idenya adalah dengan menemukan lintasan penambah terpendek secara berulang dalam residual network terbaru sampai tidak ditemukan lintasan penambah lagi.

Penulis mencoba meneliti pencarian aliran maksimum dengan algoritma Edmonds Karp (studi kasus pada jaringan listrik Kota Tegal). Berdasarkan latar belakang maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tahapan dari Algoritma Edmonds Karp untuk mencari aliran maksimum pada jaringan listrik. Setelah dapat mengetahui tahapan dari algoritma Edmonds Karp, dapat mensimulasikan perhitungan aliran maksimum dengan algoritma Edmonds Karp untuk mendapatkan nilai maksimumnya, kemudian dapat menggunakan tools Matlab untuk menentukan aliran maksimum pada suatu jaringan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kajian pustaka. Dalam langkah ini dilakukan kajian sumber-sumber pustaka dengan cara mengumpulkan data atau informasi yang berkaitan dengan masalah, sehingga didapatkan suatu ide mengenai bahan dasar pengembangan upaya pemecahan masalah. Dalam tahap kajian pustaka dilakukan pengumpulan referensi, dan pengupasan teori yang dapat dijadikan sebagai suatu masalah. Dari berbagai sumber pustaka yang sudah menjadi bahan kajian, diperoleh suatu pemecahan masalah sebagai berikut:

Representasi data: dari peta jaringan listrik kota Tegal di modelkan kedalam bentuk graf, dengan gardu induk sebagai titik awal, tiang listrik sebagai titik, kabel listrik sebagai sisi dan kuat arus sebagai kapasitas. Pencarian aliran maksimum: menggunakan algoritma Edmonds Karp dengan langkah-langkah sebagai berikut:

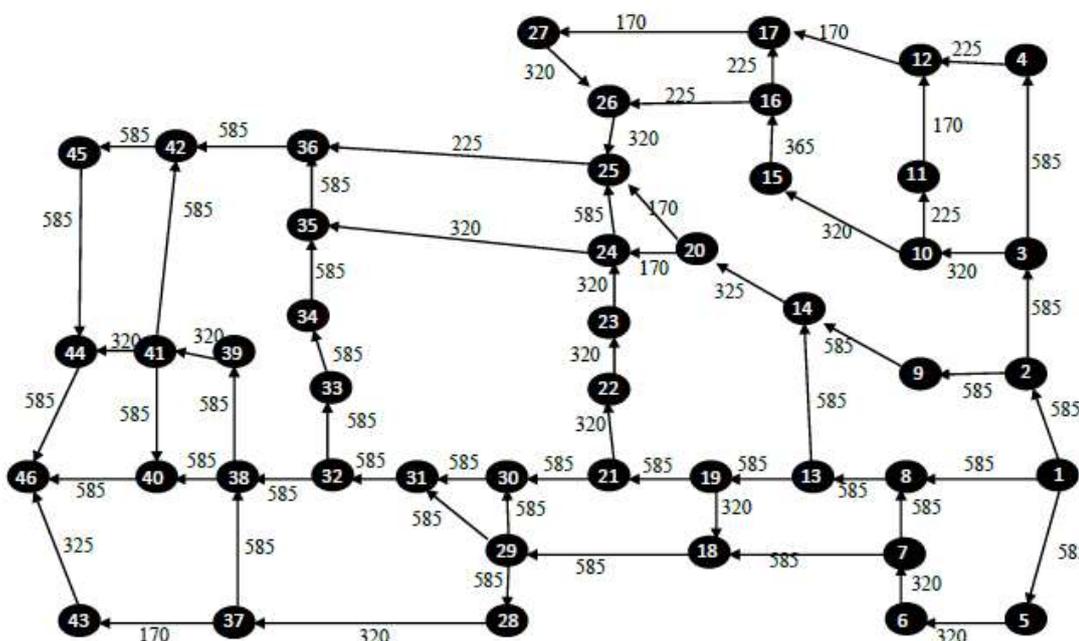
- 1) Input graf $G = (V_i, E_j)$, kapasitas setiap sisi $C(i, j)$ dan inialisasi *flow* untuk busur (i, j) sebesar nol $F(i, j) = 0$
- 2) Identifikasi suatu lintasan penambah pada *residual network* dengan menggunakan algoritma BFS (*Breadth First Search*). Yang dimaksud dengan lintasan penambah (*augmenting path*) adalah suatu lintasan berarah dari simpul awal ke tujuan pada setiap sisi dalam lintasan memiliki kapasitas yang positif.
- 3) Jika telah diperoleh suatu lintasan penambah, maka tentukan kapasitas residu lintasan penambah tersebut yang dinotasikan dengan Δ . Kapasitas residu adalah kapasitas sisi yang minimum pada lintasan penambah.
- 4) Tentukan *residual network* dengan tahapan sebagai berikut:
 - Tambahkan *flow* sebesar Δ ke setiap busur pada lintasan penambah.
 - Mengurangkan kapasitas sebesar Δ ke setiap busur pada lintasan penambah.
- 5) Jika masih ada lintasan penambah yang lain, ulangi langkah 2. Jika tidak ada lintasan penambah yang lain, hitung aliran pada setiap busur.

Adapun langkah-langkah untuk mencari lintasan penambah menggunakan algoritma Breadth First Search adalah sebagai berikut:

- a. Masukkan simpul awal ke dalam antrian (*Queue*). Antrian ini berisi simpul yang akan dicari simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul tersebut.
- b. Periksa semua simpul yang bertetangga dengan simpul awal, dengan bantuan memasang simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul awal (*Parent Map*).
- c. Periksa apakah simpul yang bertetangga sudah berpasangan dengan simpul tujuan.
- d. Jika simpul sudah berpasangan dengan simpul tujuan, pencarian selesai.
- e. Jika simpul belum berpasangan dengan simpul tujuan, masukkan simpul yang bertetangga (simpul anak) ke dalam antrian untuk dicari simpul yang bertetangga lagi.
- f. Ulangi pencarian dari langkah kedua sampai menemukan simpul tujuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem distribusi energi listrik di wilayah Tegal diatur oleh PT. PLN (Persero) APJ Tegal melalui Gardu Induk Kebasen, Gardu Induk Balapulwang, Gardu Induk Brebes dan Gardu Induk Pemalang. Melalui Gardu Induk Kebasen jaringan listrik dibagi dalam 11 unit distribusi wilayah. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder jaringan listrik kota Tegal wilayah Distribusi Kebasen 11 yang diambil dari[1]. Pada penelitian ini, simpul 1 merupakan gardu induk, sedangkan simpul 2 sampai simpul 46 diasumsikan sebagai tiang listrik, dan kabel yang menghubungkan antar tiang listrik diasumsikan sebagai sisi yang berjumlah 63. Kapasitas yang digunakan adalah arus dalam satuan Ampere. Adapun graf awal dan keterangan setiap simpul pada jaringan diberikan pada Gambar 1. Keterangan pada Gambar 1. diberikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Jaringan Listrik Kota Tegal Wilayah Distribusi Kebasen 11

Tabel 1. Data Keterangan Tiap Simpul dalam Jaringan Listrik Kota Tegal Wilayah Distribusi Kebasen 1

No.	Keterangan	No.	Keterangan	31	Tiang di Jl. Diponegoro
1	Gardu Induk	16	Tiang di Jl. Nakula	32	Tiang di Jl. Diponegoro
2	Tiang di Jl. Werkudara	17	Tiang di Jl. Arjuna	33	Tiang di Jl. Pancasila
3	Tiang di Jl. Werkudara	18	Tiang di Jl. Cendrawasih	34	Tiang di Jl. Pancasila
4	Tiang di Jl. Werkudara	19	Tiang di Jl. Ar. Halim	35	Tiang di Jl. Pancasila
5	Tiang di Jl. Ks Tuban	20	Tiang di Jl. Cempaka	36	Tiang di Jl. Pancasila
6	Tiang di Jl. Merpati	21	Tiang di Jl. Ar. Halim	37	Tiang di Jl. Hos Cokro Amita
7	Tiang di Jl. Arigunting	22	Tiang di Jl. Kartini	38	Tiang di Jl. Jend. Ahmad Yani
8	Tiang di Jl. Ar. Halim	23	Tiang di Jl. Kartini	39	Tiang di Jl. KH Muklis
9	Tiang di Jl. Kemuning	24	Tiang di Jl. Kartini	40	Tiang di Jl. Jend Ahmad Yani
10	Tiang di Jl. Wisangeni	25	Tiang di Jl. Kartini	41	Tiang di Jl. KH Zainal Arifin
11	Tiang di Jl. Wisangeni	26	Tiang di Jl. Abimanyu	42	Tiang di Jl. Kol Sugiarto
12	Tiang di Jl. Wisangeni	27	Tiang di Jl. Abimanyu	43	Tiang di Jl. D. I. Panjaitan
13	Tiang di Jl. Ar. Halim	28	Tiang di Jl. Sudirman	44	Tiang di Jl. Setyo Budi
14	Tiang di Jl. Cempaka	29	Tiang di Jl. Sudirman	45	Tiang di Jl. Setyo Budi
15	Tiang di Jl. Nakula	30	Tiang di Jl. Diponegoro	46	Tiang di Jl. Jend Ahmad Yani

Algoritma Edmonds Karp terdiri dari dua bagian. Dimulai dari inialisasi untuk setiap sisi diberikan aliran nol. Kemudian pencarian lintasan penambah menggunakan algoritma BFS sampai tidak ada lagi lintasan penambah yang ditemukan. Aliran maksimum jaringan ditemukan dengan menghitung flow pada masing-masing lintasan penambah. Dalam pencarian aliran maksimum pada jaringan listrik Kota Tegal menggunakan algoritma Edmonds Karp menghasilkan 8 iterasi berupa lintasan penambah yang dicari dengan menggunakan algoritma BFS.

Adapun masing-masing iterasinya adalah sebagai berikut:

- (1) 1 – 5 – 6 – 7 – 18 – 29 – 28 – 37 – 43 – 46
- (2) 1 – 2 – 9 – 14 – 20 – 24 – 35 – 36 – 42 – 45 – 44 – 46
- (3) 1 – 2 – 9 – 14 – 20 – 25 – 36 – 42 – 45 – 44 – 46
- (4) 1 – 5 – 6 – 7 – 18 – 29 – 28 – 37 – 38 – 40 – 46
- (5) 1 – 8 – 13 – 19 – 18 – 29 – 31 – 32 – 38 – 40 – 46
- (6) 1 – 8 – 13 – 19 – 21 – 30 – 31 – 32 – 38 – 40 – 46
- (7) 1 – 2 – 3 – 10 – 15 – 16 – 26 – 25 – 36 – 42 – 45 – 44 – 46
- (8) 1 – 8 – 13 – 19 – 21 – 30 – 31 – 32 – 38 – 39 – 41 – 44 – 46

Langkah-langkah tiap iterasi pada jaringan listrik Kota Tegal menggunakan algoritma *Breadth First Search* (BFS) adalah sebagai berikut:

- Iterasi 1:

- (1) Dari simpul pertama, yaitu simpul 1 dimasukkan ke dalam antrian (*Queue*).
- (2) Dicari simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul 1, yaitu simpul 2, 5 dan 8. Untuk memudahkan dibuat path dengan memasang simpul-simpul yang bertetangga.
- (3) Simpul 2, 5 dan 8 yang merupakan tetangga dari simpul yang sudah di kunjungi dimasukkan ke dalam antrian kemudian dicari simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul 2, 5, dan 8, demikian seterusnya sampai simpul berpasangan dengan simpul tujuan, yaitu simpul 46, dengan catatan simpul yang sudah dikunjungi tidak dapat dikunjungi kembali
- (4) Perhitungan lintasan penambah menggunakan BFS pada iterasi 1 telah didapatkan lintasan penambah, yaitu

$$1 - 5 - 6 - 7 - 18 - 29 - 28 - 37 - 43 - 46$$

- (5) Menentukan kapasitas residu

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \min \{C(1,5), C(5,6), C(6,7), C(7,18), C(18,29), C(29,28), \\ &\quad C(28,37), C(37,43), C(43,46)\} \\ &= \min\{585, 320, 320, 585, 585, 585, 320, 170, 325\} \\ &= 170 \end{aligned}$$

Menurunkan kapasitas sebesar 170 sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} C(1,5) &= 585 - 170 = 415, \\ C(5,6) &= 320 - 170 = 150, \\ C(6,7) &= 320 - 170 = 150, \\ C(7,18) &= 585 - 170 = 415, \\ C(18,29) &= 585 - 170 = 415, \\ C(29,28) &= 585 - 170 = 415, \\ C(28,37) &= 320 - 170 = 150, \\ C(37,43) &= 170 - 170 = 0, \\ C(43,46) &= 325 - 170 = 155. \end{aligned}$$

- (6) Menentukan residual network

Menaikkan arus pada iterasi 1 sebesar 170 sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} F(1,5) &= 0 + 170 = 170, \\ F(5,6) &= 0 + 170 = 170, \\ F(6,7) &= 0 + 170 = 170, \\ F(7,18) &= 0 + 170 = 170, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F(18,29) &= 0 + 170, \\F(29,28) &= 0 + 170 = 170, \\F(28,37) &= 0 + 170 = 170, \\F(37,43) &= 0 + 170 = 170, \\F(43,46) &= 0 + 170 = 170.\end{aligned}$$

Kemudian ditentukan residual network yang menjadi graf baru dalam pencarian iterasi berikutnya.

- Iterasi 2

Secara analog, didapatkan lintasan penambah yaitu:

$$1 - 2 - 9 - 14 - 20 - 24 - 35 - 36 - 42 - 45 - 44 - 46$$

Menentukan kapasitas residu:

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \min \{C(1,2), C(2,9), C(9,14), C(14,20), C(20,24), \\&C(24,35), C(35,36), C(36,42), C(42,45), C(45,44), \\&C(44,46)\} \\&= \min \{585, 585, 585, 325, 170, 320, 585, 585, 585, 585\} \\&= 170\end{aligned}$$

Menurunkan kapasitas pada lintasan penambah sebesar 170 diperoleh:

$$\begin{aligned}C(1,2) &= 585 - 170 = 415, \\C(2,9) &= 585 - 170 = 415, \\C(9,14) &= 585 - 170 = 415, \\C(14,20) &= 325 - 170 = 155, \\C(20,24) &= 170 - 170 = 0, \\C(24,35) &= 585 - 170 = 415, \\C(35,36) &= 585 - 170 = 415, \\C(36,42) &= 585 - 170 = 415, \\C(42,45) &= 585 - 170 = 415, \\C(45,44) &= 585 - 170 = 415, \\C(44,46) &= 585 - 170 = 415.\end{aligned}$$

Menentukan residual network dengan menaikkan arus pada iterasi 2 sebesar 170 diperoleh:

$$\begin{aligned}F(1,2) &= 0 + 170 = 170, \\F(2,9) &= 0 + 170 = 170, \\F(9,14) &= 0 + 170 = 170, \\F(14,20) &= 0 + 170 = 170, \\F(20,24) &= 0 + 170 = 170, \\F(24,35) &= 0 + 170 = 170, \\F(35,36) &= 0 + 170 = 170, \\F(36,42) &= 0 + 170 = 170, \\F(42,45) &= 0 + 170 = 170, \\F(45,44) &= 0 + 170 = 170, \\F(44,46) &= 0 + 170 = 170.\end{aligned}$$

Kemudian ditentukan residual network.

- Iterasi 3

Didapatkan lintasan penambah yaitu:

$$1 - 2 - 9 - 14 - 20 - 25 - 36 - 42 - 45 - 44 - 46$$

Menentukan kapasitas residu

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \min \{C(1,2), C(2,9), C(9,14), C(14,20), C(20,25), \\&C(25,36), C(36,42), C(42,45), C(45,44), C(44,46)\} \\&= \min \{415, 415, 415, 155, 170, 225, 415, 415, 415, \\&415\}\end{aligned}$$

$$= 155$$

Menurunkan kapasitas lintasan penambah sebesar 155 diperoleh:

$$\begin{aligned}C(1,2) &= 415 - 155 = 260, \\C(2,9) &= 415 - 155 = 260, \\C(9,14) &= 415 - 155 = 260, \\C(14,20) &= 155 - 155 = 0, \\C(20,25) &= 170 - 155 = 15, \\C(25,36) &= 225 - 155 = 70, \\C(36,42) &= 415 - 155 = 260, \\C(42,45) &= 415 - 155 = 260, \\C(45,44) &= 415 - 155 = 260, \\C(44,46) &= 415 - 155 = 260.\end{aligned}$$

Menentukan residual network dengan menaikkan arus pada iterasi 3 sebesar 155 sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}F(1,2) &= 170 + 155 = 325, \\F(2,9) &= 170 + 155 = 325, \\F(9,14) &= 170 + 155 = 325, \\F(14,20) &= 170 + 155 = 325, \\F(20,25) &= 0 + 155 = 155, \\F(25,36) &= 0 + 155 = 155, \\F(36,42) &= 170 + 155 = 325, \\F(42,45) &= 170 + 155 = 325, \\F(45,44) &= 170 + 155 = 325, \\F(44,46) &= 170 + 155 = 325.\end{aligned}$$

Kemudian ditentukan residual network.

- Iterasi 4

Didapatkan lintasan penambah yaitu:

$$1 - 5 - 6 - 7 - 18 - 29 - 28 - 37 - 38 - 40 - 46$$

Menentukan kapasitas residu

$$\begin{aligned}\Delta_4 &= \min \{C(1,5), C(5,6), C(6,7), C(7,18), C(18,29), C(29,28), \\&\quad C(28,37), C(37,38), C(38,40), C(40,46)\} \\&= \min \{415, 150, 150, 415, 415, 150, 585, 585, 585\} \\&= 150\end{aligned}$$

Menurunkan kapasitas pada lintasan penambah sebesar 150 diperoleh:

$$\begin{aligned}C(1,5) &= 415 - 150 = 265, \\C(5,6) &= 150 - 150 = 0, \\C(6,7) &= 150 - 150 = 0, \\C(7,18) &= 415 - 150 = 265, \\C(18,29) &= 415 - 150 = 265, \\C(29,28) &= 415 - 150 = 265, \\C(28,37) &= 150 - 150 = 0, \\C(37,38) &= 585 - 150 = 435, \\C(38,40) &= 585 - 150 = 435, \\C(40,46) &= 585 - 150 = 435.\end{aligned}$$

Menentukan residual network dengan menaikkan arus pada iterasi 4 sebesar 150 diperoleh:

$$\begin{aligned}F(1,5) &= 170 + 150 = 320, \\F(5,6) &= 170 + 150 = 320, \\F(6,7) &= 170 + 150 = 320, \\F(7,18) &= 170 + 150 = 320, \\F(18,29) &= 170 + 150 = 320, \\F(29,28) &= 170 + 150 = 320,\end{aligned}$$

$$F(28,37) = 170 + 150 = 320,$$

$$F(37,38) = 0 + 150 = 150,$$

$$F(38,40) = 0 + 150 = 150,$$

$$F(40,46) = 0 + 150 = 150.$$

Kemudian ditentukan residual network.

- Iterasi 5

Didapatkan lintasan penambah yaitu:

$$1 - 8 - 13 - 19 - 18 - 29 - 31 - 32 - 38 - 40 - 46$$

Menentukan kapasitas residu :

$$\begin{aligned} & \Delta_5 \\ & = \min \{C(1,8), C(8,13), C(13,19), C(19,18), \\ & \quad C(18,29), C(29,31), C(31,32), C(32,38), \\ & \quad C(38,40), C(40,46)\} \\ & = \min \{585, 585, 585, 585, 265, 585, 585, 585, 435, 435\} \\ & = 265 \end{aligned}$$

Menurunkan kapasitas lintasan penambah sebesar 265 diperoleh:

$$C(1,8) = 585 - 265 = 320,$$

$$C(8,13) = 585 - 265 = 320,$$

$$C(13,19) = 585 - 265 = 320,$$

$$C(19,18) = 585 - 265 = 320,$$

$$C(18,29) = 265 - 265 = 0,$$

$$C(29,31) = 585 - 265 = 320,$$

$$C(31,32) = 585 - 265 = 320,$$

$$C(32,38) = 585 - 265 = 320,$$

$$C(38,40) = 435 - 265 = 170,$$

$$C(40,46) = 435 - 265 = 170.$$

Menentukan residual network dengan menaikkan arus pada iterasi 5 sebesar 265 diperoleh:

$$F(1,8) = 0 + 265 = 265,$$

$$F(8,13) = 0 + 265 = 265,$$

$$F(13,19) = 0 + 265 = 265,$$

$$F(19,18) = 0 + 265 = 265,$$

$$F(18,29) = 170 + 265 = 585,$$

$$F(29,31) = 0 + 265 = 265,$$

$$F(31,32) = 0 + 265 = 265,$$

$$F(32,38) = 0 + 265 = 265,$$

$$F(38,40) = 150 + 265 = 415,$$

$$F(40,46) = 150 + 265 = 415.$$

Kemudian ditentukan residual network.

- Iterasi 6

Didapatkan lintasan penambah yaitu:

$$1 - 8 - 13 - 19 - 21 - 30 - 31 - 32 - 38 - 40 - 46$$

Menentukan kapasitas residu

$$\begin{aligned} \Delta_6 & = \min \{C(1,8), C(8,13), C(13,19), C(19,21), C(21,30), \\ & \quad C(30,31), C(31,32), C(32,38), C(38,40), C(40,46)\} \\ & = \min \{320, 320, 320, 585, 585, 585, 320, 320, 170, 170\} \\ & = 170 \end{aligned}$$

Menurunkan kapasitas pada lintasan penambah sebesar 170 diperoleh:

$$C(1,8) = 320 - 170 = 150,$$

$$C(8,13) = 320 - 170 = 150,$$

$$C(13,19) = 320 - 170 = 150,$$

$$\begin{aligned}C(19,21) &= 585 - 170 = 415 \\C(21,30) &= 585 - 170 = 415, \\C(30,31) &= 585 - 170 = 415, \\C(31,32) &= 320 - 170 = 150, \\C(32,38) &= 320 - 170 = 150, \\C(38,40) &= 320 - 170 = 150, \\C(40,46) &= 320 - 170 = 150.\end{aligned}$$

Menentukan residual network dengan menaikkan arus pada iterasi 6 sebesar 170 diperoleh:

$$\begin{aligned}F(1,8) &= 265 + 170 = 435, \\F(8,13) &= 265 + 170 = 435, \\F(13,19) &= 265 + 170 = 435, \\F(19,21) &= 0 + 170 = 170, \\F(21,30) &= 0 + 170 = 170, \\F(30,31) &= 265 + 170 = 435, \\F(31,32) &= 265 + 170 = 435, \\F(32,38) &= 265 + 170 = 435, \\F(38,40) &= 415 + 170 = 585, \\F(40,46) &= 415 + 170 = 585.\end{aligned}$$

Kemudian ditentukan residual network.

- Iterasi 7

Didapatkan lintasan penambah yaitu:

$$1 - 2 - 3 - 10 - 15 - 16 - 26 - 25 - 36 - 42 - 45 - 44 - 46$$

Menentukan kapasitas residu

$$\begin{aligned}\Delta_7 &= \min \{C(1,2), C(2,3), C(3,10), C(10,15), C(15,16), \\&C(16,26), C(26,25), C(25,36), C(36,42), C(42,45), \\&C(45,44), C(44,46)\} \\&= \min \{260, 585, 585, 320, 365, 225, 320, 70, 260, 260, 260\} \\&= 70\end{aligned}$$

Menurunkan kapasitas pada lintasan penambah sebesar 70 diperoleh:

$$\begin{aligned}C(1,2) &= 260 - 70 = 190, \\C(2,3) &= 585 - 70 = 515, \\C(3,10) &= 585 - 70 = 515, \\C(10,15) &= 320 - 70 = 250, \\C(15,16) &= 365 - 70 = 295, \\C(16,26) &= 225 - 70 = 155, \\C(26,25) &= 320 - 70 = 250, \\C(25,36) &= 70 - 70 = 0, \\C(36,42) &= 260 - 70 = 190, \\C(42,45) &= 260 - 70 = 190, \\C(45,44) &= 260 - 70 = 190, \\C(44,46) &= 260 - 70 = 190.\end{aligned}$$

Menentukan residual network dengan menaikkan arus pada iterasi 7 sebesar 70 diperoleh:

$$\begin{aligned}F(1,2) &= 325 + 70 = 395, \\F(2,3) &= 0 + 70 = 70, \\F(3,10) &= 0 + 70 = 70, \\F(10,15) &= 0 + 70 = 70, \\F(15,16) &= 0 + 70 = 70, \\F(16,26) &= 0 + 70 = 70, \\F(26,25) &= 0 + 70 = 70, \\F(25,36) &= 155 + 70 = 225, \\F(36,42) &= 325 + 70 = 395, \\F(42,45) &= 325 + 70 = 395,\end{aligned}$$

$$F(45,44) = 325 + 70 = 395$$

$$F(45,46) = 325 + 70 = 395.$$

Kemudian ditentukan residual network.

- Iterasi 8

Didapatkan lintasan penambah yaitu:

$$1 - 8 - 13 - 19 - 21 - 22 - 23 - 24 - 35 - 36 - 42 - 45 - 44 - 46$$

Menentukan kapasitas residu

$$\begin{aligned} \Delta_8 &= \min \{C(1,8), C(8,13), C(13,19), C(19,21), C(21,22), \\ &C(22,23), C(23,24), C(24,35), C(35,36), C(36,42), \\ &C(42,45), C(45,44), C(44,46)\} \\ &= \min \{150, 150, 150, 415, 415, 415, 150, 150, \\ &585, 320, 320, 190\} \\ &= 150 \end{aligned}$$

Menurunkan kapasitas pada lintasan penambah sebesar 150 diperoleh:

$$\begin{aligned} C(1,8) &= 150 - 150 = 0, \\ C(8,13) &= 150 - 150 = 0, \\ C(13,19) &= 150 - 150 = 0, \\ C(19,21) &= 415 - 150 = 265, \\ C(21,30) &= 415 - 150 = 265, \\ C(30,31) &= 415 - 150 = 265, \\ C(31,32) &= 150 - 150 = 0, \\ C(32,38) &= 150 - 150 = 0, \\ C(38,39) &= 585 - 150 = 415, \\ C(39,41) &= 320 - 150 = 170, \\ C(41,44) &= 320 - 150 = 170, \\ C(44,46) &= 190 - 150 = 40. \end{aligned}$$

Menentukan residual network dengan menaikkan arus pada lintasan penambah iterasi 8 sebesar 150 diperoleh:

$$\begin{aligned} F(1,8) &= 435 + 150 = 585, \\ F(8,13) &= 435 + 150 = 585, \\ F(13,19) &= 435 + 150 = 585, \\ F(19,21) &= 170 + 150 = 320, \\ F(21,30) &= 170 + 150 = 320, \\ F(30,31) &= 170 + 150 = 320, \\ F(31,32) &= 435 + 150 = 585, \\ F(32,38) &= 435 + 150 = 585, \\ F(38,39) &= 0 + 150 = 150, \\ F(39,41) &= 0 + 150 = 150, \\ F(41,44) &= 0 + 150 = 150, \\ F(44,46) &= 395 + 150 = 545. \end{aligned}$$

Kemudian ditentukan residual network.

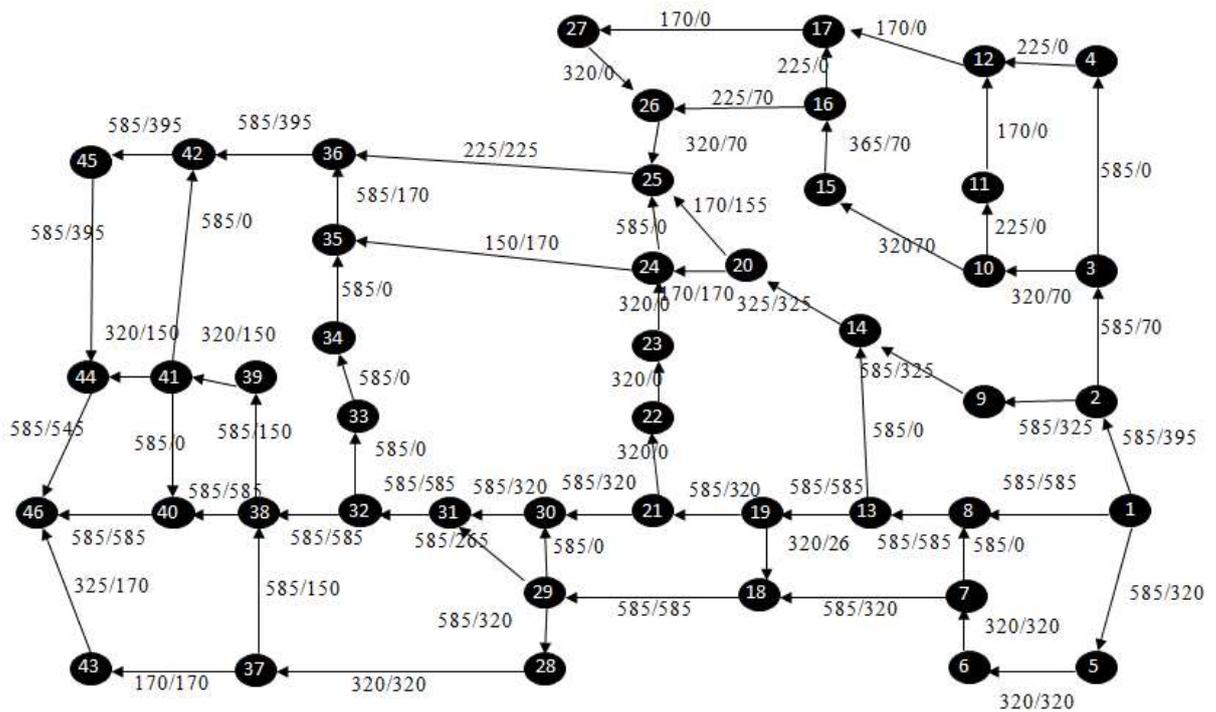
Pada sisi $37 - 43$, $20 - 24$, $14 - 20$, $28 - 37$, $18 - 29$, $28 - 40$, $40 - 46$, $25 - 36$, $1 - 8$, $8 - 13$, $13 - 19$, $31 - 32$ dan $32 - 38$ arus sudah maksimal yaitu besar kapasitas sama dengan besarnya arus, jadi sisi tersebut tidak dapat dinaikkan lagi. Karena sudah tidak ditemukan lintasan penambah, maka aliran maksimum ditemukan dengan menghitung arus pada setiap lintasan penambah.

Maximum Flow

$$\begin{aligned} &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 + \Delta_7 + \Delta_8 \\ &= 170 + 170 + 155 + 150 + 265 + 170 + 70 + 150 \\ &= 1300 \end{aligned}$$

Untuk menyelesaikan masalah aliran maksimum menggunakan tool software Matlab, maka dilakukan langkah-langkah yang pertama memasukkan data ke dalam software, data yang penulis gunakan dimasukkan dengan bantuan program Excel. Langkah kedua menuliskan script aliran

maksimum pada software Matlab kemudian *running* dengan memanggil data dari Excel tersebut. Dari langkah tersebut diperoleh akhir atau solusi dari pencarian aliran maksimum pada jaringan listrik Kota Tegal. Berikut hasil output pencarian aliran maksimum dengan tool software Matlab. Dari output tersebut dapat diketahui aliran maksimum yang diperoleh adalah 1300. Hal ini ditunjukkan dengan maximal total flow = 1300 Ampere. Hasil akhir graf yang telah dihitung menggunakan algoritma Edmonds Karp ditunjukkan pada Gambar 2. Adapun untuk hasil pencarian aliran maksimum menggunakan tools software matlan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Jaringan Listrik Kota Tegal setelah dihitung aliran maksimum menggunakan Algoritma Edmonds Karp

```

new =
(1,2)      395      (28,37)     320
(2,3)       70      (32,38)     585
(1,5)      320      (37,38)     150
(5,6)      320      (38,39)     150
(6,7)      320      (38,40)     585
(1,8)      585      (39,41)     150
(2,9)      325      (36,42)     395
(3,10)     70       (37,43)     170
(8,13)     585      (41,44)     150
(9,14)     325      (45,44)     395
(10,15)    70       (42,45)     395
(15,16)    70       (40,46)     585
(7,18)     320      (43,46)     170
(19,18)    265
(13,19)    585
(14,20)    325
(19,21)    320
(20,24)    170
(20,25)    155
(26,25)    70
(16,26)    70
(29,28)    320
(18,29)    585
(21,30)    320
(29,31)    265
(30,31)    320
(31,32)    585
(24,35)    170
(25,36)    225
(35,36)    170

max_flow =
1300
    
```

Gambar 3. Hasil perhitungan dengan software Matlab

Dari hasil analisis dari penyelesaian menggunakan algoritma Edmonds Karp diperkuat dengan hasil pencarian menggunakan tool software Matlab memperoleh penyelesaian akhir yang sama. Pencarian aliran maksimum dari jaringan distribusi listrik PT PLN Tegal Kota Wilayah distribusi Kabasen 11 dengan algoritma Edmonds Karp adalah dengan membuat lintasan penambah yang mungkin dari simpul 1 sampai simpul 46, diperoleh aliran maksimum sebesar 1300 Ampere. Aliran maksimum sebesar 1300 Ampere pada jaringan tersebut mempunyai arti apabila jaringan tersebut dialiri arus lebih dari 1300 Ampere akan terdapat sisi yang dalam hal ini adalah kabel mempunyai arus yang melebihi kapasitasnya. Logam-logam konduktor yang saat ini digunakan untuk kabel transmisi listrik masih memiliki tahanan dalam, sehingga menyebabkan sebagian arus listrik yang dialirkannya berubah menjadi panas yang dikenal sebagai pemanasan Joule. Karena pemanasan Joule ini, jika kuat arus dalam kabel melebihi kapasitasnya maka kabel tersebut akan terbakar. Oleh karena itu untuk menghindari kabel yang terbakar dianjurkan untuk mengaliri arus listrik maksimal 1300 Ampere.

Sedangkan realitas yang ada di lapangan, arus yang mengalir sebuah kabel diukur secara manual masih menggunakan suatu alat yang memiliki batas ukur tertentu. Dengan adanya hasil perhitungan ini bisa dijadikan alternatif perhitungan aliran maksimum bagi petugas pencatat di lapangan. Sedangkan untuk kabel yang tidak dialiri arus bisa dijadikan cadangan dalam kondisi-kondisi darurat. Sebagai contoh ketika terjadi gangguan jaringan tersebut dioperasikan untuk mengambil arus dari sumber suplai yang lain.

SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari pencarian aliran maksimum menggunakan algoritma Edmonds Karp pada jaringan listrik Kota Tegal Wilayah Distribusi Kebasen 11 bahwa tahapan dalam algoritma Edmonds Karp dapat diterapkan dalam pencarian aliran maksimum pada jaringan listrik. Pencarian aliran maksimum dengan algoritma Edmonds Karp pada jaringan listrik Kota Tegal diperoleh aliran maksimum sebesar 1300 Ampere dengan 8 kali iterasi, dan dengan menggunakan software Matlab dilakukan pencarian aliran maksimum dan menghasilkan jumlah aliran maksimum yang sama sebesar 1300 Ampere.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Farizal, "PENCARIAN ALIRAN MAKSIMUM DENGAN ALGORITMA FORD-FULKERSON (Studi Kasus pada Jaringan Listrik di Kota Tegal)." Universitas Negeri Semarang, 2013.
- [2] R. Munir, "Matematika Diskrit edisi ketiga," *Inform. Bandung*, 2009.
- [3] J. Jek Siang, "Matematika Diskrit dan Aplikasinya Pada Ilmu Komputer," *Yogyakarta Penerbit Andi Yogyakarta*, 2009.
- [4] J. G. Rosenstein and V. A. DeBellis, "The Leadership Program in Discrete Mathematics.," *Discret. Math. Sch.*, vol. 36, pp. 415–431, 1992.
- [5] U. Latifah, "Penerapan Algoritma Prim dan Kruskal pada Jaringan Distribusi Air PDAM Tirta Moedal Cabang Semarang Utara." Universitas Negeri Semarang, 2014.
- [6] T. K. Dey, "Edmonds-Karp Algorithm (Advanced Algorithms (CSE 794))." 2009.
- [7] C. Jain and D. Garg, "Improved Edmond Karps Algorithm for Network Flow Problem," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 37, no. 01, p. 2012, 2012.
- [8] K. K. Mallick, A. R. Khan, M. M. Ahmed, M. S. Arefin, and M. S. Uddin, "Modified EDMONDS-KARP algorithm to solve maximum flow problems," *Open J. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 131–140, 2016.
- [9] T. Everitt and M. Hutter, "Analytical results on the BFS vs. DFS algorithm selection problem. Part I: tree search," in *Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2015, pp. 157–165.
- [10] F. Halim, R. H. C. Yap, and Y. Wu, "A MapReduce-based maximum-flow algorithm for large small-world network graphs," in *2011 31st International Conference on Distributed Computing Systems*, 2011, pp. 192–202.